IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DEFLAGRADORES DA EROSÃO EM VOÇOROCA A PARTIR DA SIMULAÇÃO DO FLUXO ACUMULADO EM ÁREA URBANA

Leonardo Figueiredo de FREITAS [1]
Daniel GOMES-LOEBMANN [2]
Renato Fontes GUIMARÃES [3]
Osmar Abílio de CARVALHO JÚNIOR [4]
Roberto Arnaldo Trancoso GOMES [5]

RESUMO

A ocorrência de voçorocas em áreas urbanas geralmente está associada às alterações no regime de fluxo das águas pluviais. A urbanização ocasiona uma modificação na superfície de drenagem aumentando o volume de fluxo em determinadas localidades devido à impermeabilização de áreas construídas e o confinamento do escoamento superficial nos arruamentos e/ou galerias de águas pluviais. Em muitos casos, em um evento de chuva torrencial, um dimensionamento errôneo das galerias pluviais ou o seu entupimento pode ocasionar uma sobrecarga na drenagem urbana provocando inundações. Normalmente, os projetos de sistemas pluviais são concebidos sem considerar um impacto de uma vazão máxima. O estudo bem detalhado da superfície urbana e das dinâmicas hidrológicas pode auxiliar na contenção dos processos erosivos existentes. O presente trabalho possui como objetivo avaliar a influência da drenagem urbana como agente desencadeador de processos erosivos acelerados por meio de modelagem matemática. Desta forma, foi desenvolvida uma metodologia que permite identificar a alteração no regime de fluxo e sua repercussão no desenvolvimento de uma voçoroca no Córrego da Chácara, Gama – DF. A metodologia consiste em duas etapas: (a) confecção do modelo digital de terreno (MDT) de forma a retratar a superfície da área urbana com suas respectivas construções e (b) geração do mapa de fluxo acumulado para análise do comportamento da água superficial. Com isso é possível identificar de onde está vindo o fluxo que desencadeou o processo erosivo e qual o seu comportamento na área afetada. Os resultados obtidos permitiram demonstrar a origem da voçoroca em estudo e sua relação com a concentração e desvio do fluxo acumulado, decorrente do processo de urbanização.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de voçorocas em áreas urbanas, ou, em suas periferias geralmente está associada ao desenvolvimento das cidades, que muitas vezes ocorre espontaneamente, sem qualquer planejamento para evitar os efeitos oriundos das alterações geradas.

A falta de um planejamento de drenagem urbana, não é um problema relacionado apenas as cidades não planejadas. A cidade do Gama no Distrito Federal, é um exemplo disso, pois, mesmo tendo sido planejada sofre com alagamentos pontuais e várias voçorocas que atingem sua periferia. Isso acontece devido ao fato de que o sistema de drenagem é composto por relações complexas entre a topografia local, o tipo de solo, a cobertura

[1] Universidade de Brasília, Bolsista de PIBIC, leoffreitas@yahoo.com.br.
[2] Universidade de Brasília, Bolsista de PIBIC, gomesloebmann@yahoo.com.br
[3] Universidade de Brasília, Professor Doutor, Bolsista de PQ do CNPq, renatofg@unb.br
[4] Universidade de Brasília, Professor Doutor, Bolsista de PQ do CNPq, osmarjr@unb.br
[5] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Doutorando, ratgomes@ig.com.br

vegetal, entre outros (Cunha, 1996). A construção de casas, ruas, galerias de águas pluviais, calçadas e outras estruturas urbanas, alteram as condições naturais da área.

A urbanização, promove a impermeabilização total ou parcial do solo, que impede a infiltração da água da chuva de forma eficiente, aumentando o escoamento superficial e a concentração do fluxo, geralmente associados aos arruamentos e galerias de águas pluviais (Porto *et al*., 2000).

De acordo com Christofoletti (1980), a análise da rede hidrográfica é de suma importância na tentativa de se compreender e elucidar algumas questões geomorfológicas, tendo em vista que os cursos d'água constituem-se em um dos principais processos morfogenéticos ativos na esculturação da paisagem terrestre.

A diminuição, ou, anulação da capacidade de infiltração por construções e pavimentos faz com que aumente, não só o volume, mas também a velocidade do fluxo. Estes que antes se encontravam dissipados, tendem a se concentrar catalisando os processos de desenvolvimento das voçorocas (Salomão, 1999). As voçorocas em ambientes urbanos causam grandes prejuízos, como a destruição de casas, estruturas urbanas, entre outros (Oliveira *et al.,* 1987).

A utilização da modelagem matemática permite que seja feita uma análise dos problemas hidrológicos de forma rápida e precisa, assim como a previsão de cenários futuros, por isso tem sido bastante utilizada para analisar as alterações na paisagem. Os modelos matemáticos em hidrologia começaram a ser utilizados na década de 1960, pois os pesquisadores perceberam que a utilização de computadores traria muitas vantagens, com a simulação de processos hidrológicos (Porto *et al.*, 2000).

A partir de modelos digitais de terreno (MDT) e de seus mapas derivados, é possível modelar o relevo em ambiente computacional e simular alguns processos, dentre eles, os caminhos percorridos pelo fluxo d'água, definindo onde há concentração e dispersão.

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos na previsão de processos erosivos a partir da modelagem matemática, principalmente na identificação de áreas susceptíveis à movimento de massa (Dietrich & Montgomery, 1998; Guimarães *et al*., 2003; Fernandes *et al*., 2003; Ramos *et al*., 2003; Redivo *et al*., 2004; entre outros) e estimação de perda de solo (Andrade *et al.*, 2003; Chaves *et al.*, 1995; Desmet & Govers, 1996; Ranieri *et al*., 2002, entre outros) entretanto são poucos os autores que utilizam a modelagem matemática na simulação e identificação de processos geradores de voçorocas em ambientes urbanos.

Neste contexto este trabalho tem como objetivo identificar quais fatores originaram a voçoroca do córrego da Chácara no Gama – DF. Para isso será utilizada a modelagem matemática, com a confecção de Modelos Digitais de Terreno (MDTs) e mapas de fluxo acumulado, a fim de simular o comportamento do escoamento superficial na área em cenários diferentes, o anterior à urbanização e o atual.

ÁREA DE ESTUDO

Localizada na porção sudoeste do Distrito Federal, na coordenada 48° 06' W e 16° 02' S, a Cidade do Gama possui, aproximadamente, 15,37 Km² de área urbana e é a sede da Região Administrativa do Gama, que ocupa uma área de 276,34 km² (Figura 1).

A cidade do Gama encontra-se entre os córregos Alagado, ao leste, e Ponte Alta, ao oeste. Ao sul tem-se um grande vale, denominado de Vale do Tamanduá, por onde corre o córrego da Chácara (Figura 2). As características dessas áreas, de certa forma impedem a expansão da cidade nestas direções devido às dificuldades de se construir e por serem protegida pelo Art. 3 inciso III da Lei Federal 6.766/79 e na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, nº 10/1988 e nº 303/2002.

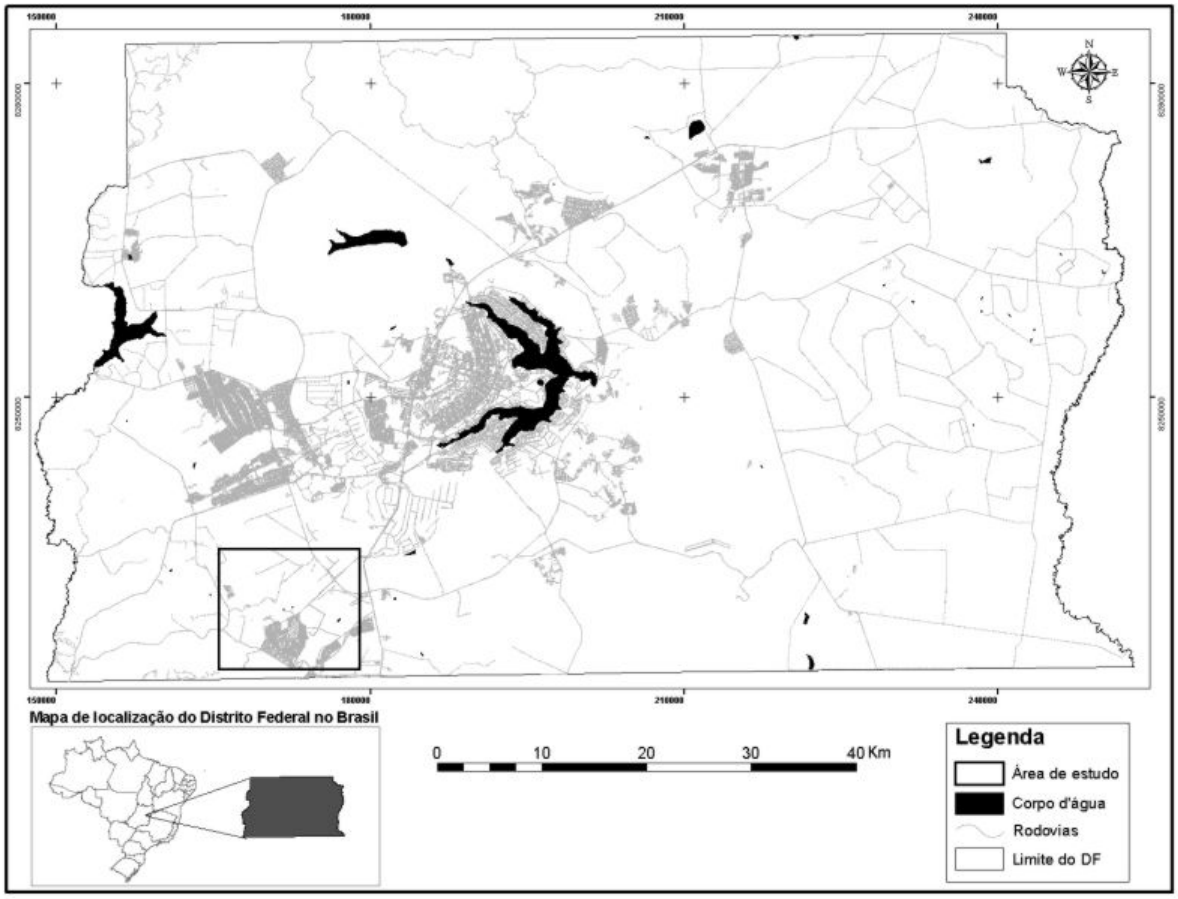

Figura 1. Localização da área de estudo.

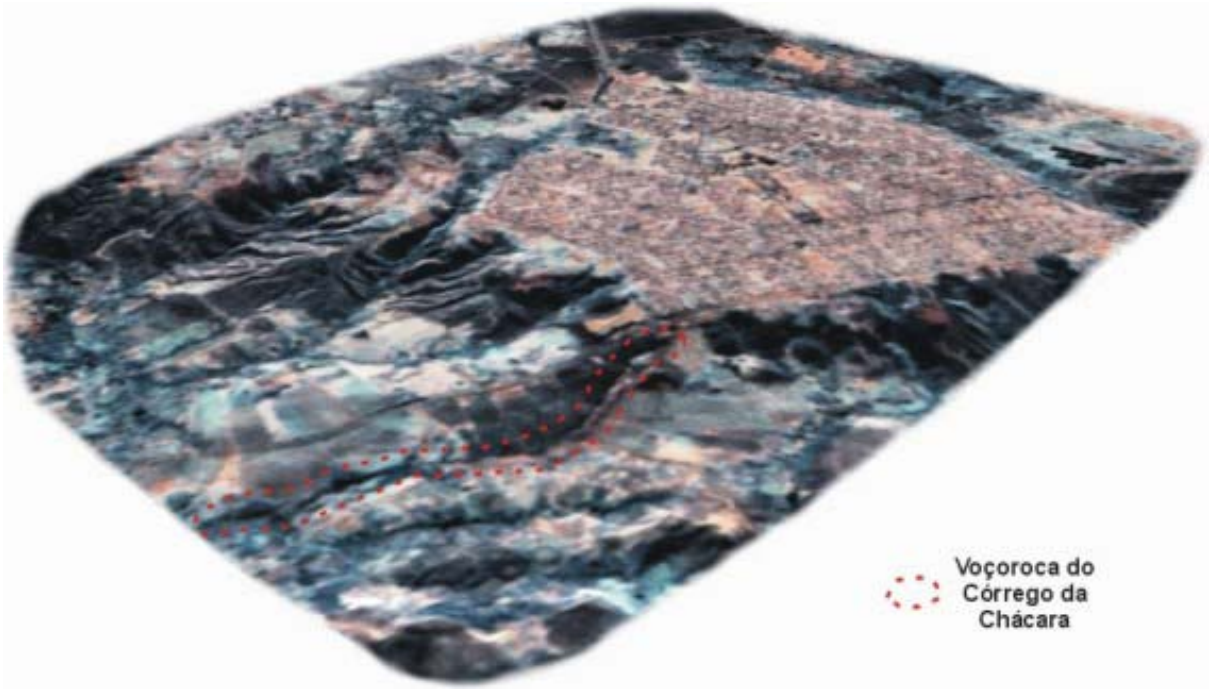

Figura 2. Visualização 3D da cidade do gama e da voçoroca do córrego da chácara.

A Geologia da área é dividida em duas grandes unidades: (a) Cobertura Detrito-laterítica Terciário-Quaternária que correspondem as superfícies mais elevadas e aplainadas, com dissecação marginal pela erosão, e (b) Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária (Grupo Paranoá), composta, na base, por quartzitos finos a muito finos, feldspatos friáveis, que em direção ao topo há uma evolução com a alternância de laminações síltico-argilosas, metassiltito e metargilitos amarelos a avermelhados com intercalações de quartzitos finos a

médios localmente grosseiros, classificados como ritmitos, localizada principalmente nas áreas onde o relevo apresenta as maiores declividades (Scislewski *et al*., 2003).

Geomorfologicamente a área está compreendida na Unidade Geomorfológica Planalto do Distrito Federal e apresenta basicamente dois padrões de relevo: superfície tabular e degrau estrutural. A superfície tabular está presente na porção mais plana da área e apresenta alguns canais de drenagem de baixa densidade. O degrau estrutural aparece na área de rebordo e foi produzido por erosão diferencial no contato de falhas de empurrão entre os xistos do Grupo Canastra, que são menos resistentes ao intemperismo, e os quartzitos e metarritmitos do Grupo Paranoá (Dantas, 2003).

Com relação aos tipos de solo da área tem-se na porção mais elevada onde a superfície é mais plana a presença de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. Na parte onde apresenta um relevo ondulado e forte ondulado há uma associação de CAMBISSOLO petroplíntico + CAMBISSOLO típico, ambos HÁPLICOS. E na porção menos elevada, onde o relevo é plano e suave ondulado se encontra uma associação de LATOSSOLO VERMELHO + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, ambos Distróficos (Motta, 2003).

O Clima no Gama é bem parecido com o do restante do Distrito Federal, é marcado por dois períodos, um seco, que geralmente se apresenta de abril a setembro; e outro úmido que vai de outubro a março. A média pluviométrica anual no DF é de aproximadamente 1542 mm, sendo que a maior parte das chuvas ocorre no período úmido. As temperaturas mais altas ficam na média dos 26°C e as mais baixas, entre 10°C e 12°C. No período seco a umidade relativa do ar pode alcançar os 10%.

O Gama tem várias voçorocas em sua periferia, a maior delas é a que se desenvolveu no córrego da Chácara (Figura 3), que tem aproximadamente três quilômetros de extensão, com profundidade média de 10 metros e em alguns trechos a largura chega aos 50 metros (Figura 4).

Figura 3. Imagem da voçoroca do córrego da Chácara (Fonte: Google Earth).

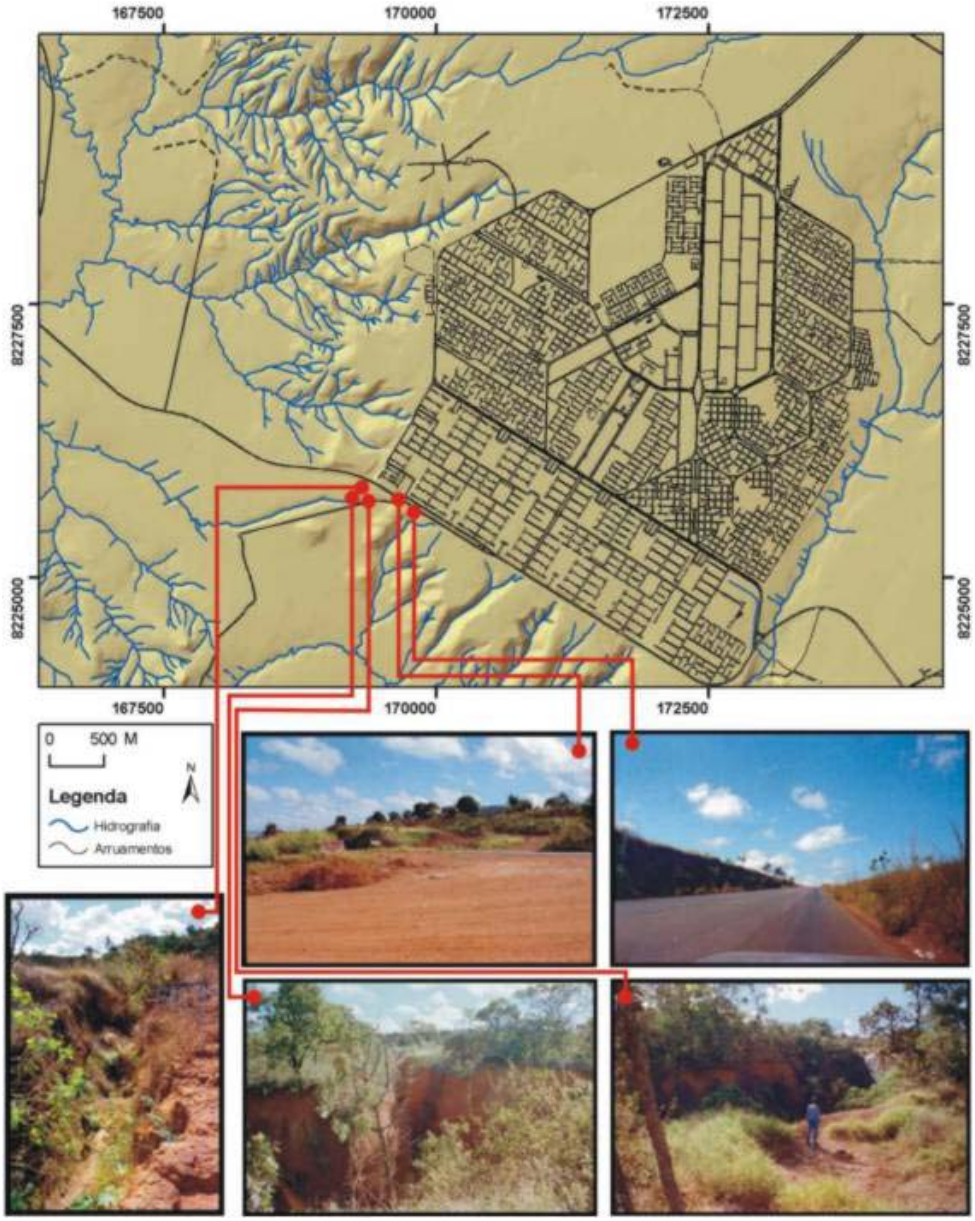

Figura 4. Algumas mudanças ocorridas no terreno, como a construção de estradas, que alteraram o regime de fluxo e suas conseqüências no córrego da Chácara.

METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado como base de dados as cartas digitais, na escala de 1:10.000, do Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD), com curvas de nível e vetores de hidrografia. Além disso, foram utilizados também os vetores dos arruamentos na área urbana e polígonos referentes às quadras.

A metodologia adotada para a realização deste trabalho apresenta as seguintes etapas: (a) geração de dois modelos digitais de terreno (MDT): o "natural", apenas com as curvas de nível e a hidrografia; e outro, "antrópico", com pontos cotados, hidrografia, polígonos das quadras e vetores de arruamentos; (b) confecção de mapas de área de contribuição referentes aos MDTs; e (c) comparação dos dados obtidos a fim de se verificar a existência da mudança no regime de fluxo acumulado na área.

Os MDTs foram gerados no *software ArcInfo pelo* módulo Topogrid, este interpolador, de acordo com Guimarães (2000), é o que apresenta o menor erro médio (Figura 5) e se destaca em estudos voltados para a hidrologia, pois, combina a interpolação local, como a

utilizada no inverso do quadrado da distância, com a interpolação global, como o interpolador *kriging* (Wahba *apud* ESRI, 1993).

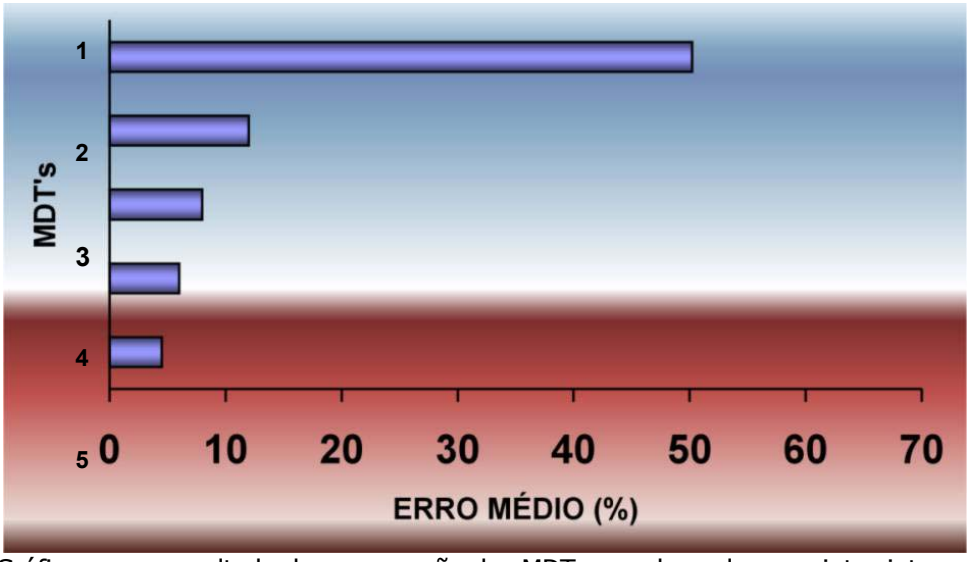

Figura 5. Gráfico com o resultado da comparação dos MDTs gerados pelos seguintes interpoladores: 1 - INTERCON (IDRISI); 2 - Inverso do Quadrado da Distância; 3 - Krigagem (SURFER); 4 - Krigagem Multi–Direcional; 5 - TOPOGRID (ARCINFO). (Fonte: Guimarães, 2000).

O MDT "natural" foi gerado a partir das curvas de nível e hidrografia, tendo como objetivo simular a superfície anterior à intervenção humana.

O MDT "antrópico" foi gerado em duas etapas: (a) confecção de um MDT preliminar utilizando tanto a hidrografia e as curvas de nível, como também, os vetores de arruamentos e polígonos das quadras, e (b) refinamento do MDT considerando as quadras elevadas a um valor de 4 metros a fim de simular a altura média das casas.

A Figura 6, mostra a comparação de dois perfis topográficos obtidos dos MDTs gerados (Figura 7), onde, é possível notar que o padrão na área urbana (Figura 6-b) é bastante diferente da condição natural (Figura 6-a), fazendo com que o fluxo se concentre nos arruamentos alterando o padrão de drenagem.

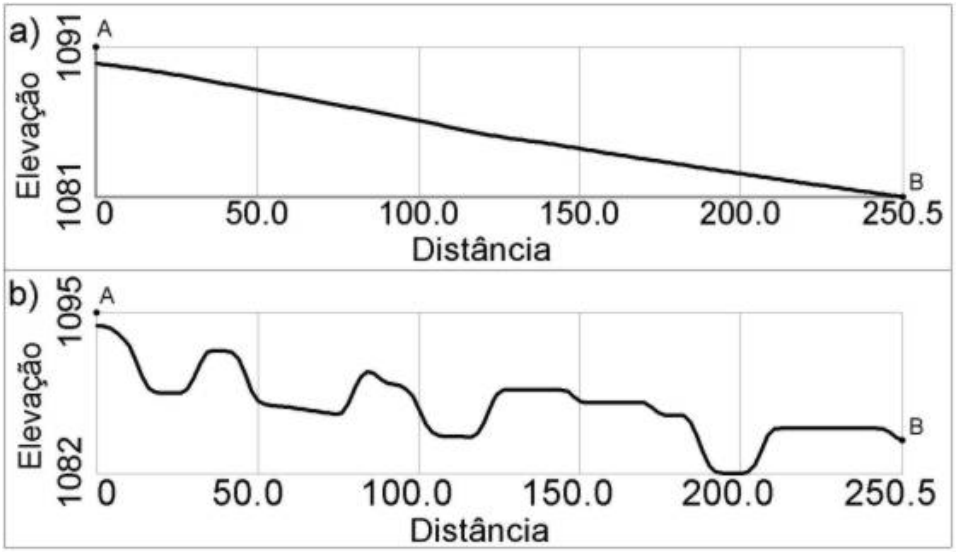

Figura 6. Comparação entre os perfis topográficos do (a) MDT "natural" e (b) MDT "antrópico", onde as elevações são as quadras e as depressões são os arruamentos.

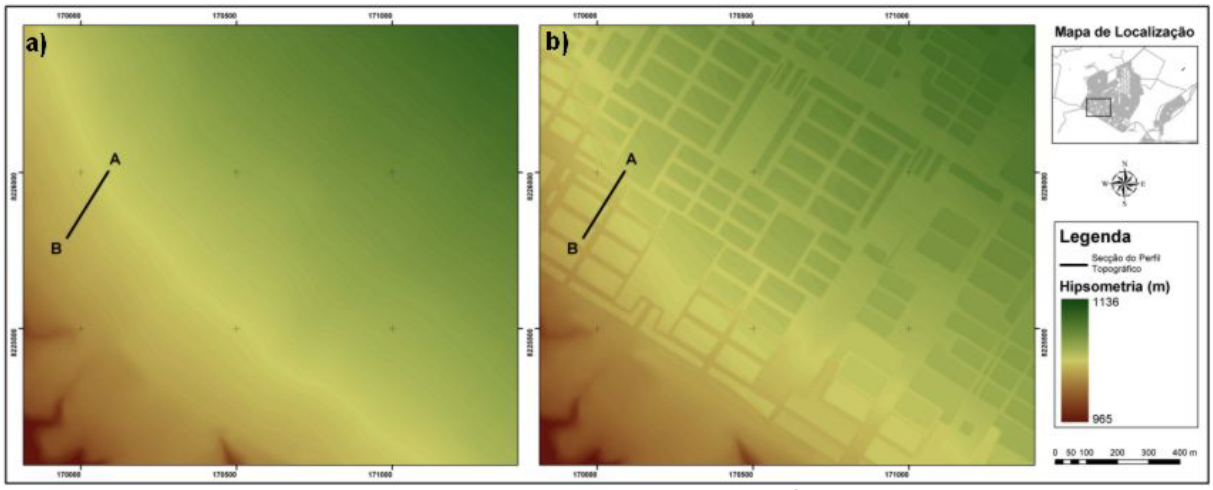

Figura 7. Detalhe dos MDTs gerados (a) "natural" e (b) "antrópico" e a localização do perfil topográfico da Figura 6.

A partir dos MDTs obteve-se os mapas de fluxo acumulado que descrevem o regime de fluxo indicando as áreas de concentração. Um dos primeiros métodos desenvolvidos para o cálculo do fluxo acumulado foi o método D8, onde, em uma área de 3 x 3 *pixels* o fluxo correspondente ao pixel central é destinado a um dos oito *pixels* vizinhos, de acordo com o valor de menor altimetria (O'Callaghan & Mark, 1984) (Figura 8). De acordo com Ramos *et al*. (2003), esse método apresenta algumas limitações quando comparado com outro de distribuição proporcional.

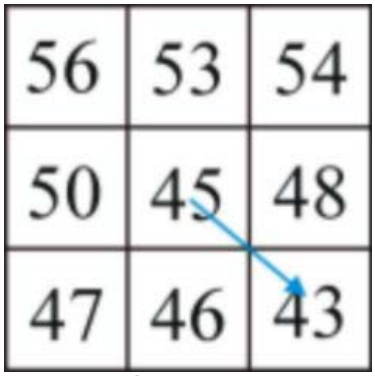

Figura 8 – Representação esquemática da distribuição de fluxo no método D8.

Tarboton (1997) propôs uma metodologia, o método D-Inf (D∞), em que, a distribuição da área de contribuição é dada de forma proporcional. Esse método simula o comportamento do fluxo em uma área já saturada e é uma evolução do método D8 introduzido por O'Callaghan e Mark (1984), onde o fluxo é distribuído para apenas um dos oito *pixels* vizinhos, tendo a limitação de que cada uma das oito possibilidades está separada por 45°. No método D∞ a direção do fluxo está entre os valores 0° e 45° de uma das faces triangulares, ao todo são oito triângulos compreendendo três *pixels* cada, com isso o *pixel* base pode distribuir o fluxo para outros dois, sendo que a proporção que vai para cada um é dada pelo ângulo do vetor em relação ao lado do triângulo, que está posicionado no *pixel* vizinho, dividido por 45° (Figura 9). No presente trabalho foi adotado o método do D∞ para a confecção do mapa de fluxo acumulado.

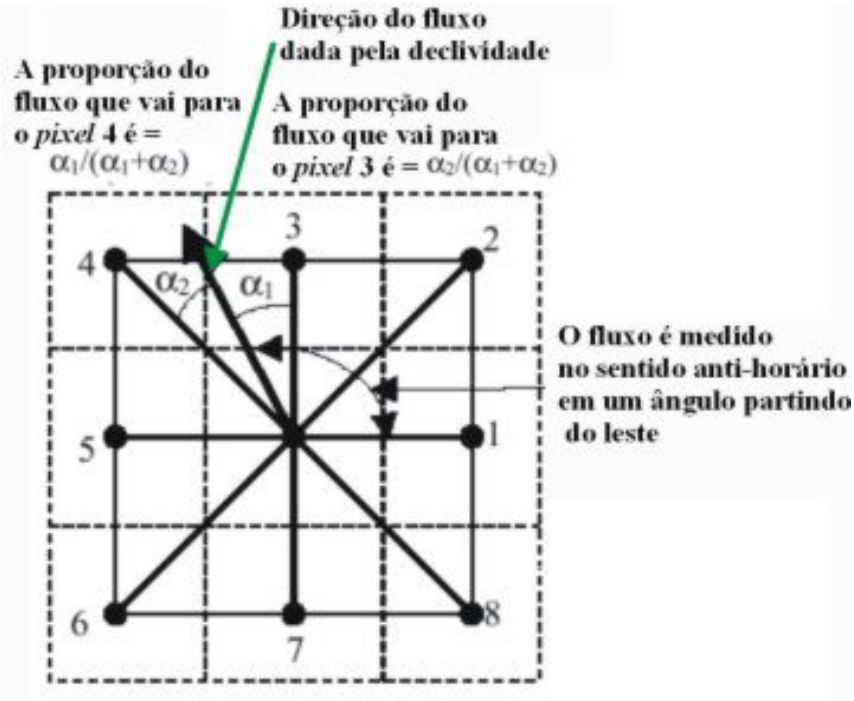

Figura 9 – Representação do método D∞, onde o fluxo assume uma determinada direção de acordo com a declividade. (Modificado de Tarboton, 1997)

RESULTADOS

O mapa de fluxo acumulado da Figura 10, simula o comportamento da água, na superfície, anterior à intervenção antrópica. A geração desse mapa tem o objetivo de servir de parâmetro para identificar alterações no padrão de fluxo acumulado após a alteração da área pela urbanização.

A Figura 11 mostra o mapa de fluxo acumulado na situação atual, ou seja, com a influência da área urbana. É possível notar que houve uma grande mudança no padrão de drenagem, em que as áreas referentes as quadras tornaram-se divisores d'água, e os arruamentos, passaram a exercer o papel de canais de drenagem, concentrando o fluxo.

Comparando a Figura 10 com a Figura 11 é possível notar que houve um desvio no fluxo, que passou a correr para o córrego da Chácara (Figura 12). Esse aumento de fluxo é o responsável pela intensificação do processo deflagrador da voçoroca do córrego da Chácara, já que essa voçoroca se desenvolve desde o início da cidade, mas que foi agravada com a construção do Setor Sul (Figura 12b).

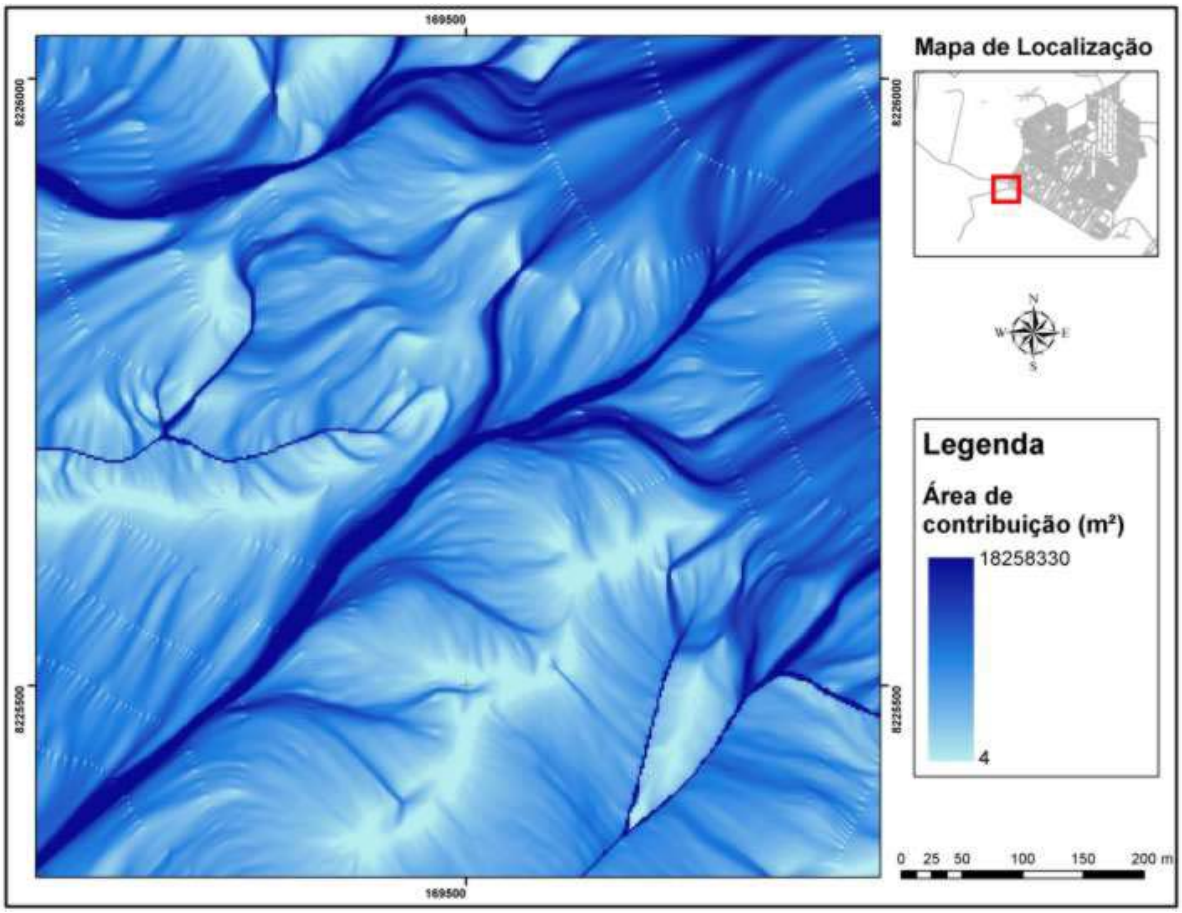

Figura 10. Mapa de fluxo acumulado da área anterior à urbanização.

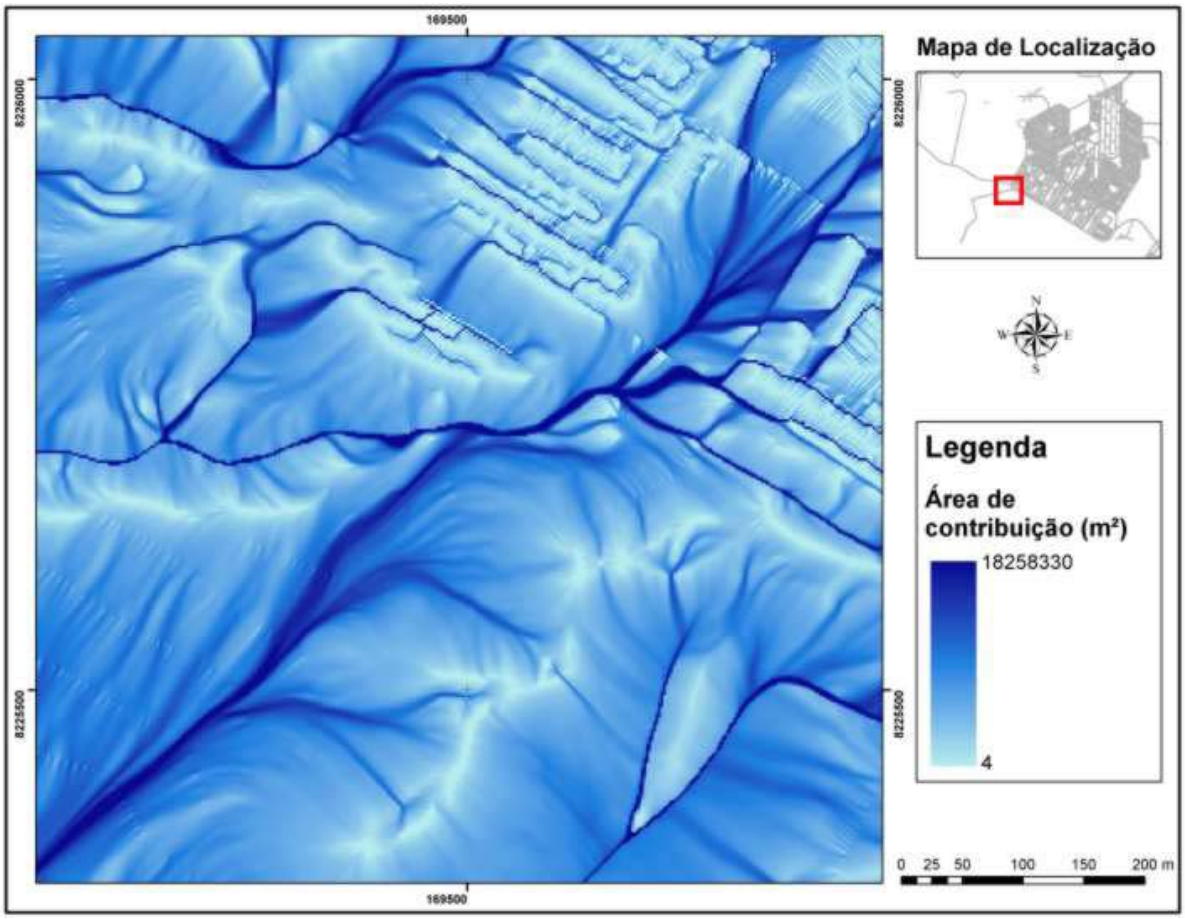

Figura 11. Mapa de fluxo acumulado em ambiente urbano.

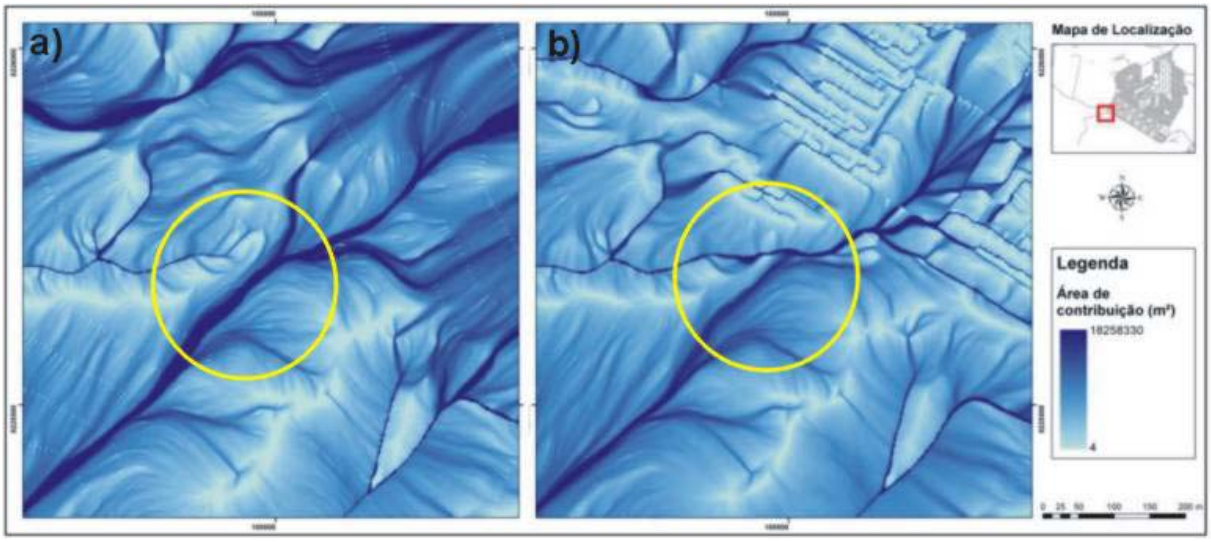

Figura 12. Em destaque a alteração no fluxo: a) fluxo original, b) mudança de direção para o córrego da Chácara.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação dos fatores deflagradores de processos erosivos, por meio do geoprocessamento é de grande utilidade para o planejamento de áreas urbanas, pois, permite sua previsão e a adoção de medidas preventivas para que problemas como esse não ocorram.

Essa metodologia permite identificar em toda a área quais são os locais que estão diretamente relacionados ao aumento da quantidade do fluxo e assim servir de apoio para implementação de obras de drenagem de águas pluviais mais eficientes, evitando a formação eventual de voçoroca.

Na área de estudo várias obras já foram realizadas para conter o aumento da voçoroca do córrego da Chácara, entretanto é praticamente inviável a recuperação desta área, dado que a quantidade de material retirado é muito grande além de possuir um fluxo permanente de água em seu interior.

Com isso pode-se concluir que a metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho se mostrou bastante eficiente, na identificação de alterações no padrão de drenagem. Esse método pode ser empregado em estudos prévios para o planejamento de cidades ou de obras de drenagem urbana, a fim de orientar estudos mais detalhados em áreas específicas, onde forem identificados problemas. Entretanto a utilização de escalas maiores poderá apresentar resultados que possam ser representados e/ou quantificados de maneira mais precisa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. C.; LEAL, L. R.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. Estudos dos processos erosivos na bacia do Rio Grande (BA) como subsídio ao planejamento agroecológico. **Boletim de Pesquisas e Desenvolvimento Embrapa Cerrados**, Planaltina - DF, v. 63, p. 1-26, 2003.

BRASIL. Lei n° 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. **Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 20 dez. de 1979. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/>. Acesso em: 27 mai. 2005.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 10 de 1988. Dispõe sobre a regulamentação das APAs. **Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 11 ago. 1988. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>. Acesso em: 27 mai. 2005.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 303 de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil**, 13 mai. 2002. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>. Acesso em: 27 mai. 2005.

CHAVES, H. M. L.; SILAVA, P. A.; CARLOS, R. J. Aplicação da USLE e de SIG na predição da erosão atual e potencial a nível regional: o caso do vale do São Francisco. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais...** Minas Gerais. SBCS/UFV 1995.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. T. Degradação Ambiental. *In:* **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2ª ed.Rio de Janeiro: Bertrand, 1996.

DANTAS, M. E. Geomorfologia. In: CPRM;EMBRAPA;SCO-MI. (Org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno -** Fase I. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003, v. 2, p. 01-29.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation,** v. 51, p. 427–433, 1996.

DIETRICH, W. E. e MONTGOMERY, D. R. SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential. **National Council for Air and Stream Improvement**, 1998. 26p.

ESRI, **Understanding GIS** – The ARC/INFO Method. *Enviromental Systems Research Institute*, Wiley, New York, 1993. 535 p.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **Catena**, v. 55, p. 163–181, 2004.

GUIMARÃES, R. F. **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis à escorregamentos rasos com controle topográfico**: Adequação e calibração em duas bacias de drenagem. Tese de Doutorado, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000. 156p.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Parameterization of Soil Properties for a Model of Topographic Controls on Shallow Landsliding: Application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology.** Holanda. , v. 69, p.99 – 108, 2003.

MOTTA, P. E. F. ; NAIME, U. J. ; CARVALHO FILHO, A. ; REATTO, A. ; MARTINS, E. S. ; LIMA, J. A. S. Solos. In: CPRM;EMBRAPA;SCO-MI. (Org**.). Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno** - Fase I. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003, v. 2, p. 33-54.

OLIVEIRA, A. M. S.; PONÇANO, W. L.; SALOMÃO, F. X. T.; DONZELI, P.L.; ROCHA, G. A.; e VALÉRIO FILHO, M. Questões Metodológicas em Diagnósticos Regionais de Erosão: A Experiência Pioneira da Bacia do Peixe Paranapanema – SP. *In:* SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília, . **Anais...** São Paulo: ABGE/DAEE, 1987. p. 51-71.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, v. 28 p. 328-344, 1984.

PORTO, R.; ZAHED F., K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem Urbana. *In:* TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, 2000. p. 805-847.

RAMOS, V. M. ; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; FERREIRA, N. F.; GOMES, R. A. T. Avaliação de Metodologias de Determinação do Cálculo de Áreas de Contribuição. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 4, p. 41-49, 2003.

RANIERI, S. B. L.; LIER, Q. J. V.; SPAROVEK, G.; FLANAGAN, D. C. Erosion database interface (EDI): a computer program for georeferenced application of erosion prediction models. **Computers & Geosciences** v. 28 p. 661–668, 2002.

REDIVO, A. L.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. Determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na BR 356 no município de Ouro Preto - MG. **Ciência e Natura**, Santa Maria (RS), n. agosto, p. 31-46, 2004.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (ed.) **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 228-267.

SCISLEWSKI, G.; FRASCA, A. A. S.; ARAÚJO, V. A.; RODRIGUES, J. B.; GONÇALVES, H. S. Geologia. In: CPRM;EMBRAPA;SCO-MI. (Org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno -** Fase I. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003, v. 1, p. 09-15.

TARBOTON, D. G. A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models. **Water Resources Research**. v. 33, p. 309-319, 1997.